

PEMANFAATAN LIMBAH BUAH BUAHAN SEBAGAI PENGHASIL ENERGI LISTRIK DENGAN TEKNOLOGI MICROBIAL FUEL CELL (VARIASI PENAMBAHAN RAGI DAN ASETAT)

Nareswati Dwi Utari^{1*} Titik Istirokhatun, ST, MSc, Ir. Mochtar Hadiwidodo, MSi
¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang
*Email: < narez14@yahoo.co.id >

Abstract

The energy crisis has led the development of alternative renewable energy sources. Microbial fuel cell (MFC), which is one form of environmentally friendly technology use the metabolic activity of the bacteria to generate electrical energy. This research using simple organic materials (glucose) in the fruits waste to be used as a nutrient for bacteria. Metabolism of bacteria that live in anode reactor converts a substrate such as glucose, acetate also liquid waste into CO_2 , protons and electrons. The flow of electrons through the circuit electricity to charge to the cathode. The potential difference between the cathode and anode with an electron will produce electricity. Activity metabolism bacteria is need simple organic materials as a source of his food. Waste fruits still contain simple organic materials (glucose) that is used as a source of food for those bacteria the microbial fuel cell. In this research a simple organic matter is added (acetic) as additional nutrition for bacteria and additional yeast help add variety and those kinds of bacteria can that allows many more proton and electron produced so power density produced are also increase The addition of 12 gr of yeast has a higher yield than of the other 201.37 mw/m^2 . Adding acetic 1600 mg/l to the substrate having a higher than by adding acetic 800 mg/l that is 830.55 mw/m^2 .

Keyword : Fruits waste, Microbial fuel cell, Power Density

1 PENDAHULUAN

Krisis energi telah memicu pengembangan sumber energi alternative terbarukan untuk mensubstitusi penggunaan minyak bumi yang selama ini menjadi sumber utama bagi masyarakat. Diantara berbagai pilihan penghasil energi substituent, *microbial fuel cell* merupakan salah satu contoh teknologi alternative yang berpotensi untuk dikembangkan. *microbial fuel cells* atau (MFC) adalah peralatan untuk merubah energi kimia menjadi energi listrik melalui aktivitas katalitik dari mikroorganisme (Chae, dkk. 2008). Limbah buah-buahan yang dianggap sampah oleh masyarakat masih mengandung material organik sederhana (glukosa) yang berpotensi digunakan sebagai sumber makanan bagi bakteri pada *microbial Fuel cell*. Selain itu molekul sederhana yang diberikan pada substrat MFC seperti asetat menambah nutrisi yang dapat dikonsumsi oleh bakteri sehingga produksi listrik yang dihasilkan meningkat. (Liu, et al. 2005) Penggunaan bakteri sangat penting, ragi membantu menambah variasi dan jumlah jenis bakteri yang ada. Bertambahnya jumlah sel bakteri ini memungkinkan semakin banyaknya proton dan elektron yang dapat dihasilkan (Novitasari. 2011).

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana mengolah limbah buah buahan dengan menggunakan MFC sehingga dapat menghasilkan energi alternatif.

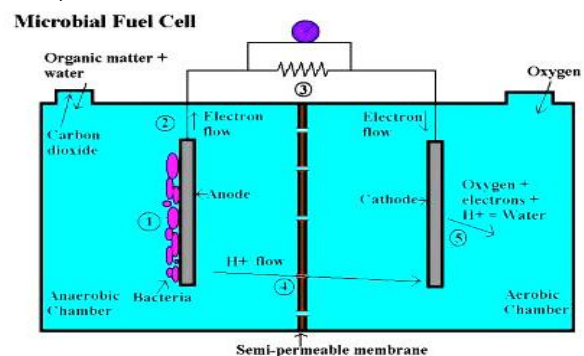
2 DASAR TEORI

2.1 Microbial fuel Cells

Microbial fuel cell (MFC) merupakan salah satu cara untuk memproduksi energi secara berkesinambungan dalam bentuk listrik dari bahan-bahan yang dapat didegradasi. MFC adalah alat untuk mengonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan bantuan reaksi katalitik dari mikroorganisme (Allan dan Benneto 1993). MFC membangkitkan listrik dengan mengoksidasi bahan organik secara anaerob melalui bantuan mikroorganisme.

2.2 Prinsip kerja MFC

Prinsip kerja MFC mirip dengan hidrogen *fuel cell*, yaitu terdapat aliran proton dari ruang anoda menuju ruang katoda melalui membran elektrolit dan aliran elektron yang bergerak ke arah yang sama melalui kabel konduksi (Hoogers 2003).



Gambar 2.1 Prinsip kerja MFC

Secara umum mekanisme prosesnya adalah substrat dioksidasi oleh bakteri menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron ditransfer melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton didifusikan melalui separator membran (proton exchange membrane) menuju katoda. Pada katoda, reaksi elektron dan proton terhadap oksigen akan menghasilkan air (Cheng et al. 2006)

3 METODOLOGI PENELITIAN

. Penelitian ini memanfaatkan material organik sederhana (glukosa) pada limbah buah buahan untuk digunakan sebagai nutrisi bagi bakteri. Metabolisme bakteri yang hidup pada ruangan anoda pada reactor *Microbial Fuel Cell (MFC)* mengubah substrat seperti glukosa, asetat juga limbah cair menjadi CO₂, proton dan elektron. Elektron kemudian mengalir melalui sirkuit listrik dengan muatan pada katoda. Beda potensial antara anoda dan katoda bersama dengan aliran electron akan menghasilkan daya listrik.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Mikrobial Fuel Cell

Penelitian ini menggunakan sel elektrokimia dengan sistem *dual-chamber* yang terdiri dari kompartemen katoda dan kompartemen anoda. Kedua kompartemen ini dapat menampung volume masing-masing sebanyak 1500 mL



Gambar 4.1 Reaktor MFC

4.1.1 Elektroda

Menurut Logan, elektroda pada MFC harus mempunyai konduktivitas yang tinggi, *non-corrosive*, mempunyai area permukaan yang besar, porositas tinggi, dan tidak mudah busuk (Logan, 2007). Penelitian ini menggunakan elektroda grafit yang berasal dari batang karbon batu baterai bekas berukuran A. Dalam penelitian yang dilakukan Artadi dkk (2007), grafit batu baterai bekas mempunyai sifat fisis yang hampir sama dengan elektroda grafit. Batang karbon dari batu baterai bekas ini digunakan karena sifat mekanisnya seperti logam, ringan, mempunyai daya hantar listrik yang tinggi dan cocok untuk pertumbuhan bakteri. Luas permukaan dari elektroda ini sebesar $1,46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ dengan diameter sebesar 0,762 cm dan panjang elektroda 5,715 cm.

4.1.2 Jembatan Garam

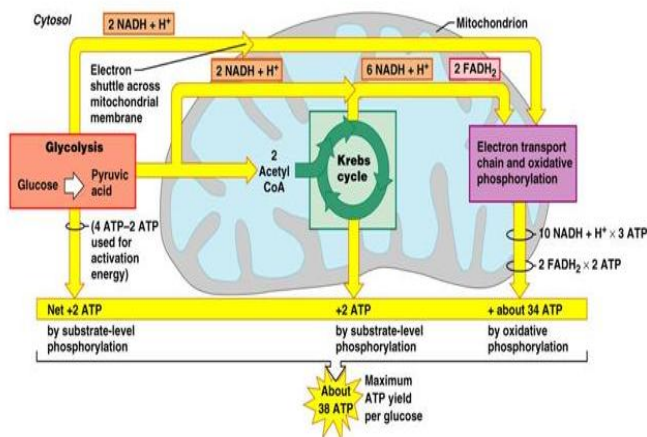
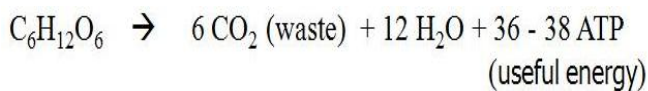
Diantara kedua kompartemen dipisahkan dengan sebuah membran jembatan garam dengan diameter 1 inchi dan panjang 10 cm. Menurut Logan, *membrane* pada *microbial fuel cell* di gunakan untuk menjaga agar cairan yang ada di anoda maupun katoda tetap terpisah. *Membrane* yang digunakan harus *permeable* agar proton yang terbentuk di anoda dapat berpindah ke katoda (Logan, 2006). Jembatan garam pada reaktor ini berfungsi sebagai tempat proton berdifusi dari anoda ke katoda, sehingga akan terjadi pertemuan antara ion positif dan ion negatif dari larutan elektrolit yang dapat diukur sebagai suatu arus listrik. Pembuatan *Salt Bridges* (Jembatan Garam) dilakukan dengan menggunakan larutan KCl 1M dan agar agar, KCl digunakan karena memiliki nilai produksi listrik yang tinggi .

4.2 Limbah Buah Buahan Sebagai Substrat pada MFC

Buah-buahan yang mengandung kadar gula tinggi merupakan bahan yang potensial sebagai substrat pada sistem *microbial fuel cell*. Buah yang dipakai bukan buah yang masih bagus dan segar, tetapi buah-buahan yang sudah tidak layak jual atau hampir busuk. Limbah buah-buahan yang dianggap sampah oleh masyarakat masih mengandung material organik sederhana (glukosa) yang berpotensi digunakan sebagai sumber makanan bagi bakteri pada *Microbial Fuel cell*. Glukosa adalah substrat yang biasa digunakan dalam eksperimen MFC karena mudah dioksidasi oleh mikroba sehingga produksi listrik dari sistem MFC dapat meningkat (Kim et al., 2000). Glukosa pada limbah buah berperan sebagai sumber energi dalam mikroba yang bersifat spontan, artinya lebih mudah untuk dimakan.

4.2.1 Pertumbuhan Mikroorhagisme

Setiap mikroorganisme seperti layaknya makhluk hidup pasti membutuhkan makanan sebagai sumber energi. Sumber energi utama bagi hampir semua makhluk hidup adalah karbohidrat, mulai dari yang rantai panjang seperti pati sampai yang paling sederhana (mono dan disakarida). Monosakarida paling utama adalah glukosa, gula dengan rumus kimia C₆H₁₂O₁₁. Menurut Zahara. 2011, Jalur biokimia yang terjadi, sebenarnya bervariasi tergantung jenis gula yang terlibat, tetapi umumnya melibatkan jalur glikolisis. Pada tahap awal metabolisme substrat yaitu glukosa akan melalui jalur Embden-Meyerhoff Pathway atau Glikolisis.

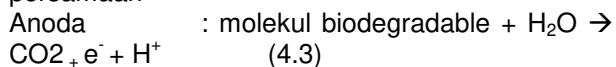


Gambar 4.1 Glikolisis

Pengukuran kuat arus dan tegangan listik optimum saat memasuki fase ekponensial (Zahara. 2011) yaitu fase dimana mikroorganisme mengalami pertumbuhan secara optimal.

4.3 Reaksi Kimia di Anoda dan Katoda

Larutan elektrolit yang digunakan pada kompartemen katoda adalah kalium permanganat (KMnO_4) 0,1 M. Kompartemen anoda MFC diisi dengan limbah yang mengandung molekul biodegradable dan mikroba. Mikroba yang terdapat dalam limbah tersebut kemudian akan mengoksidasi molekul biodegradable menghasilkan electron, proton dan CO_2 . Proton menuju ke katoda melalui larutan elektrolit sedangkan electron akan menempel ke anoda, kemudian mengalir melalui sirkuit listrik ke katoda. Aliran electron inilah yang menghasilkan daya listrik. Pada katoda electron, proton dan oksigen bergabung membentuk H_2O . secara umum reaksinya dapat dituliskan dalam persamaan



- Gula sederhana sebagai molekul biodegradable terdegradasi seperti ditunjukkan persamaan
 Anoda : $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{e}^- + \text{H}^+$
 Katoda : $\text{O}_2 + \text{e}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

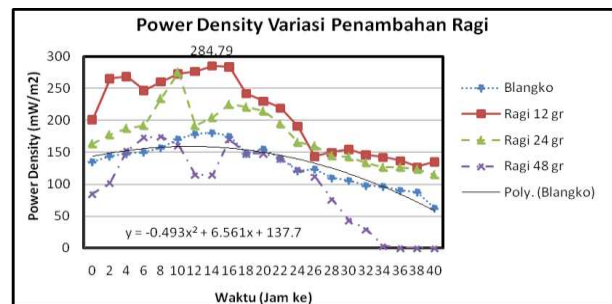
Molekul sederhana yang diberikan pada subtract MFC seperti asetat akan terdegradasi (Liu et al, 2005) seperti persamaan berikut

- Asetat sebagai molekul biodegradable
 Anoda : $\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 8 \text{e}^- + 8\text{H}^+$
 Katoda : $2\text{O}_2 + 8 \text{e}^- + 8\text{H}^+ \rightarrow 4 \text{H}_2\text{O}$

4.4 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Variasi Penambahan Ragi pada Substrat

Penelitian MFC yang dilakukan menggunakan substrat limbah buah-buahan yang berasal dari

daerah sekitar tembalang. Dengan variasi penambahan ragi 12 gr, 24 gr dan 48 gr (Perbandingan limbah buah dengan air 1 : 1). Penambahan ragi tape berguna untuk menambah jumlah bakteri yang ada pada limbah buah.



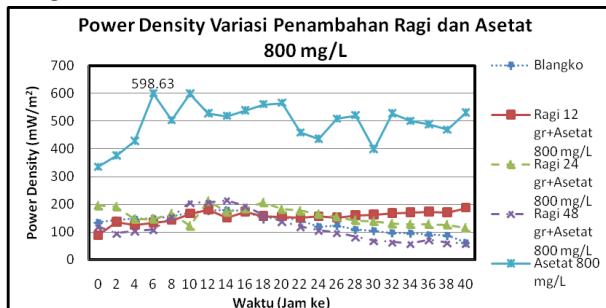
Gambar 4.2 Perbandingan Power Density pada variasi penambahan ragi

Dari variasi penambahan jumlah ragi yang berbeda memberikan yang cukup besar di awal eksperimen, untuk blangko yang tidak di tambah ragi (limbah murni) menghasilkan *power density* awal sebesar 135 mW/m², penambahan ragi 12 gr di peroleh nilai *power density* sebesar 201.37 mW/m², penambahan ragi 24 gr menghasilkan *power density* sebesar 163.49 mW/m² dan untuk penambahan ragi 48 gr menghasilkan *power density* sebesar 134.11 mW/m². Keempatnya mengalami kenaikan, nilai *power density* maksimum didapat dari penambahan ragi 12 gr yaitu sebesar 284.79 mW/m² dan kemudian turun secara perlahan seiring berjalannya waktu. Logan (2006) menyatakan jika tidak ada senyawa organik yang tersisa maka akan menyebabkan produksi listrik turun karena tidak ada lagi senyawa untuk dioksidasi. Bertambahnya jumlah sel bakteri ini memungkinkan semakin banyaknya proton dan elektron yang dapat dihasilkan dari proses metabolisme sehingga kuat arus yang terbaca semakin besar (Novitasari. 2011). Akan tetapi, jumlah glukosa sebagai substrat di anoda bernilai tetap. Akibatnya, terjadi perebutan "makanan" di antara sel bakteri sehingga tidak semua sel bakteri dapat melakukan metabolisme.

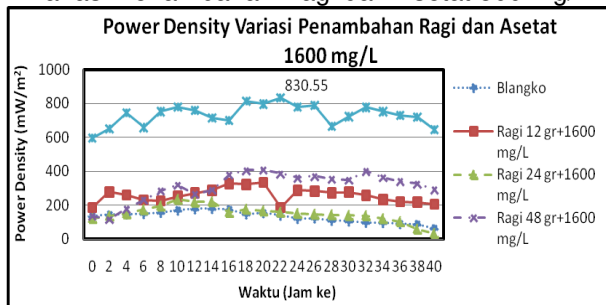
4.5 Hasil Pengukuran Energi Listrik Pada Variasi Penambahan Ragi dan Asetat pada Substrat

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Liu, et al (2005) menerapkan penambahan asetat pada substrat untuk meningkatkan produksi listrik dalam system MFC. Dalam penelitian tersebut dilakukan penambahan asetat sebesar 80 mg/L; 240 mg/L; 400 mg/L; 800 mg/L, dari variasi tersebut didapat bahwa penambahan asetat 800 mg/L meningkatkan nilai *power density* paling tinggi. Maka dalam penelitian ini divariasikan penambahan konsentrasi asetat yaitu 0 mg/L, 800 mg/L dan 1600 mg/L untuk mengetahui mana yang

lebih efektif dalam menghasilkan listrik di dalam MFC.



Gambar 4.3 Perbandingan Power Density pada Variasi Penambahan Ragi dan Asetat 800 mg/L

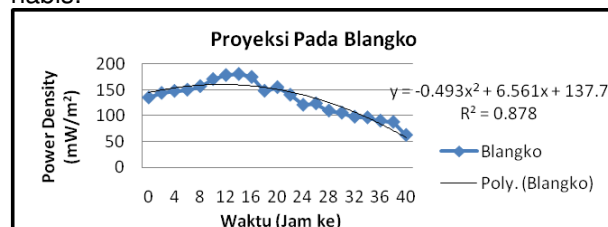


Gambar 4.4 Perbandingan Power Density pada Variasi Penambahan Ragi dan Asetat 1600 mg/L

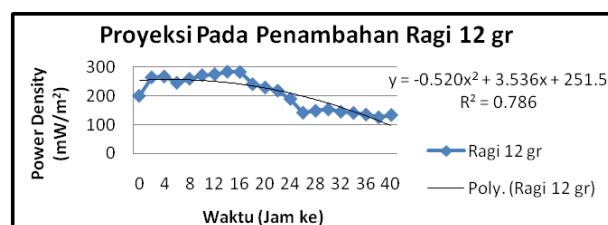
Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa penambahan asetat meningkatkan nilai *power density* yang dihasilkan, semakin banyak ragi dan konsentrasi asetat yang ditambahkan maka nilai *power density* yang dihasilkan juga besar. *Power Density* maksimum terjadi pada penambahan asetat 1600 mg/L sebesar 830.55 mW/m². Molekul sederhana yang diberikan pada substrat MFC seperti Asetat akan terdegradasi sehingga menambah nutrisi untuk bakteri pada substrat MFC. Seperti yang sudah dipaparkan diatas bahwa peningkatan *power density* sebanding dengan banyaknya senyawa organik yang dapat dikonsumsi oleh mikroba yang membuat metabolisme mikroba meningkat tajam, yang diindikasikan oleh meningkatnya produksi listrik hasil metabolisme sedangkan Penurunan ini terjadi sehubungan dengan kondisi bakteri yang mulai memasuki fase kematian. Pada fase ini, kecepatan kematian sel terus meningkat sedangkan kecepatan pembelahan sel nol (Sumarsih, 2007). Akibatnya, jumlah sel bakteri yang hidup semakin sedikit. Kadar glukosa di anoda juga semakin berkurang seiring dengan bertambahnya waktu. Akibatnya, terjadinya penurunan kecepatan metabolisme sel sehingga kuat arus yang dihasilkan pun semakin kecil. Terdapat juga beberapa faktor lain yang memicu terjadinya peningkatan hambatan dalam diantaranya adalah bahwa bakteri juga dapat menghasilkan biofilm. Polarisasi yang terjadi pada elektroda juga dapat mempengaruhi penurunan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan pada beberapa data yang diukur pada waktu tertentu dan *fouling* pada jembatan garam.

4.5 Proyeksi Power Density Yang dihasilkan reaktor MFC

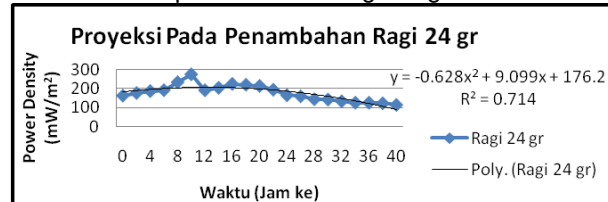
Dengan melihat grafik *power density* yang dihasilkan setiap reaktor MFC dapat diprediksikan berapa jam waktu yang diperlukan sampai metabolisme bakteri berhenti atau fase kematian dari bakteri. Prediksi ini menggunakan treandline grafik polynomial dimana persamaan yang didapat digunakan untuk memprediksi kapan metabolisme bakteri berhenti atau kapan *power density* akan habis.



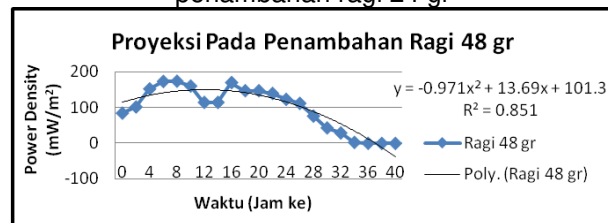
Gambar 4.5 Proyeksi Power Density pada Blangko



Gambar 4.6 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 12 gr

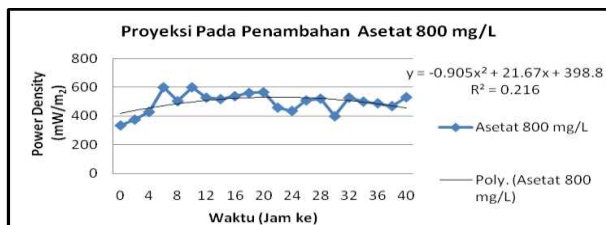


Gambar 4.7 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 24 gr

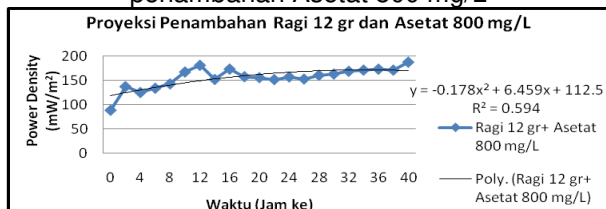


Gambar 4.8 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 48 gr

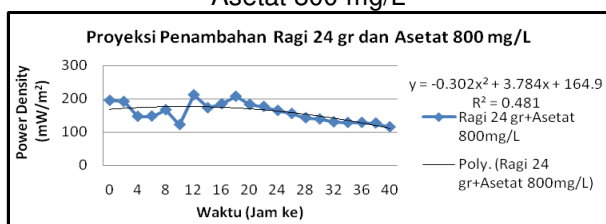
Untuk blangko, dengan menggunakan persamaan $y = -0.493x^2 + 6.561x + 137.7$ dapat diprediksikan bahwa *power density* akan habis pada jam ke 48. Pada penambahan ragi 12 gr dengan persamaan $y = -0.520x^2 + 3.536x + 251.5$ dan penambahan ragi 24 gr dengan persamaan $y = -0.628x^2 + 9.099x + 176.2$ diprediksi bahwa *power density* akan habis pada jam 50. Sedangkan pada penambahan ragi 48 gr dengan persamaan $y = -0.971x^2 + 13.69x + 101.3$ dapat diprediksi bahwa *power density* akan habis pada jam ke 38.



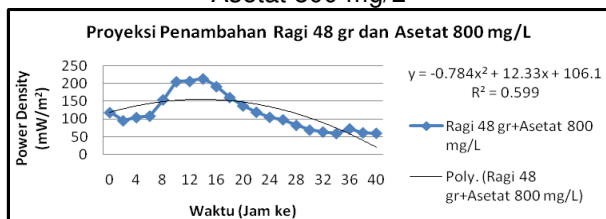
Gambar 4.9 Proyeksi Power Density pada penambahan Asetat 800 mg/L



Gambar 4.10 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 12 gr dan Asetat 800 mg/L

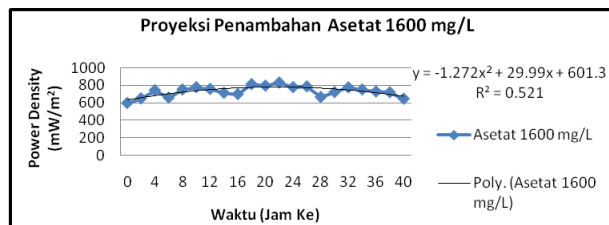


Gambar 4.11 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 24 gr dan Asetat 800 mg/L

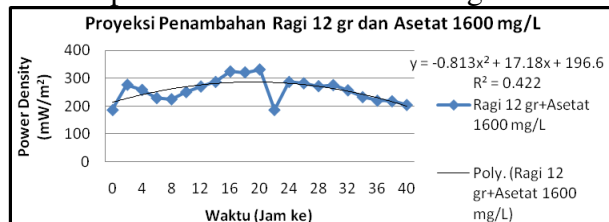


Gambar 4.12 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 48 gr dan Asetat 800 mg/L

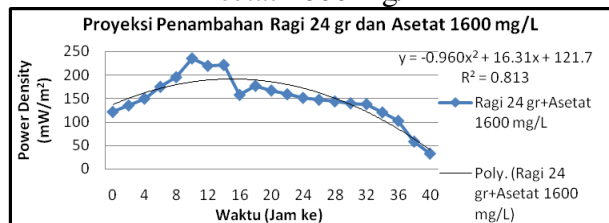
Untuk penambahan asetat 800 mg/L pada substrat, dengan menggunakan persamaan $y = -0.905x^2 + 21.67x + 398.8$ dapat diprediksikan bahwa *power density* akan habis pada jam ke 72. Pada penambahan ragi 12 gr + asetat 800 mg/L dengan persamaan $y = -0.178x^2 + 6.459x + 112.5$ dan penambahan ragi 24 gr + asetat 800 mg/L dengan persamaan $y = -0.302x^2 + 3.784x + 164.9$ diprediksi bahwa *power density* akan habis pada jam ke 98 dan jam ke 60. Sedangkan pada penambahan ragi 48 gr + asetat 800 mg/L dengan persamaan $y = -0.784x^2 + 12.33x + 106.13$ dapat diprediksi bahwa *power density* akan habis pada jam ke 42.



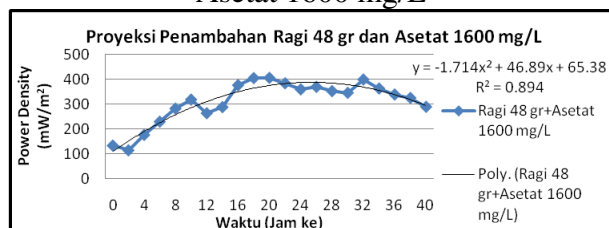
Gambar 4.13 Proyeksi Power Density pada penambahan Asetat 1600 mg/L



Gambar 4.14 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 12 gr dan Asetat 1600 mg/L



Gambar 4.15 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 24 gr dan Asetat 1600 mg/L



Gambar 4.36 Proyeksi Power Density pada penambahan ragi 48 gr dan Asetat 1600 mg/L

Untuk penambahan asetat 1600 mg/L pada substrat, dengan menggunakan persamaan $y = -1.272x^2 + 29.99x + 601.3$ dapat diprediksikan bahwa *power density* akan habis pada jam ke 72. Pada penambahan ragi 12 gr + asetat 1600 mg/L dengan persamaan $y = -0.813x^2 + 17.18x + 196.6$ dan penambahan ragi 24 gr + asetat 1600 mg/L dengan persamaan $y = -0.960x^2 + 16.31x + 121.7$ diprediksi bahwa *power density* akan habis pada jam ke 58 dan jam ke 44. Sedangkan pada penambahan ragi 48 gr + asetat 1600 mg/L dengan persamaan $y = -1.714x^2 + 46.89x + 65.38$ dapat diprediksi bahwa *power density* akan habis pada jam ke 56.

4.7 Pemanfaatan Limbah yang dihasilkan reaktor MFC

Limbah yang dihasilkan pada penelitian ini adalah limbah buah-buahan yang sudah ditambah ragi dan asetat. Limbah yang dihasilkan masih mengandung bahan-bahan yang bisa dimanfaatkan lagi seperti glukosa yang masih ada pada limbah buah dan asetat sebagai nutrisi tambahannya. Salah satu pemanfaatan limbah dari reaktor MFC ini adalah dengan cara dimanfaatkan sebagai MOL (Mikro Organisme Lokal) yang dapat meminimalisasi terjadinya limbah sekaligus meningkatkan nilai ekonomis limbah

5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian pemanfaatan limbah buah-buahan sebagai penghasil energi listrik dengan teknologi *microbial fuel cell* (variasi penambahan ragi dan asetat pada substrat), maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Limbah buah-buahan yang dianggap sampah oleh masyarakat masih mengandung material organik sederhana (glukosa) yang berpotensi digunakan sebagai sumber makanan bagi bakteri pada *Microbial Fuel cell*.
- Penambahan ragi sebesar 12 gr memiliki hasil yang lebih tinggi di banding yang lainnya yaitu sebesar 201.37 mW/m². Ragi membantu menambah variasi dan jumlah jenis bakteri yang ada yang memungkinkan semakin banyaknya proton dan electron yang dihasilkan.
- Asetat dapat digunakan untuk meningkatkan produksi listrik. Penambahan asetat 1600 mg/L pada substrat memiliki hasil yang lebih tinggi dibanding dengan penambahan asetat 800 mg/L yaitu sebesar 830.55 mW/m².

5.2 Rekomendasi

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai modifikasi system MFC agar diperoleh kinerja MFC yang lebih baik.
- Perlu dilakukan upaya untuk mengurangi hambatan internal dan pembentukan biofilm pada elektroda sehingga dapat meningkatkan *power density* yang dihasilkan.

6 REFERENCES

- [1] Artadi, Arif. Sudaryono. Aryadi. 2007. Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi. Jurusan Teknokimia Nuklir. STTN-BATAN.
- [2] Bruce E. Logan. 2006. *Microbial Fuel Cell*. The Pennsylvania State University. Wiley-Interscience. A John Wiley & Sons, Inc., Publication
- [3] Chae, Kyu Jung. Choi, Mijin. Ajayi, Folusho F. Park, Wooshin. Chang, In Seop. dan Kim, In S. 2008. Mass Transport through a Proton Exchange Membrane (Nafion) in Microbial Fuel Cells. *Energy & Fuels*
- [4] Cheng, Liu. 2006. Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure. *Electrochemistry Communications* 8:489-494.
- [5] Hoogers, Gregor. 2003. *Fuel cell Technology Handbook*. CRC Press. Boca Raton. London. New York. Washington D.C
- [6] Kim, MH. 2009. An Analysis of Anaerobic Dual-Anode Chambered Microbial Fuel Cell (MFC) Performance. Master's Thesis, University of Tennessee
- [7] Liu, H., Cheng, S., Logan B. 2005. Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell. *Environ. Sci. Technol.*:39,658-662.
- [8] Novitasari, Deni. 2011. Optimalisasi Kinerja Mikrobal Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. Teknik kimia. Universitas Indonesia
- [9] Sumarsih. 2007. Pertumbuhan Mikroba Bab I. <http://sumarsih07.files.wordpress.com/2008/11/i-pertumbuhan-mikroba.pdf> (diakses September 2013)
- [10] Wijaya, Chistina Natalia. 2008. Pemanfaatan Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) sebagai Media Kultur Mikroba Penghasil Listrik Melalui Mikrobal Fuel Cell (MFC).
- [11] Zahara, Nova Chisilia. 2011. Pemanfaatan *Saccharomyces cerevisiae* Dalam Sistem Microbial Fuel Cell Untuk Produksi Energi Listrik. Teknik Kimia. Universitas Indonesia.